

DOBUTAMIN–ATROPIN STRESS TEST MYOKARDU POMOCÍ MAGNETICKÉ REZONANCE

DOBUTAMINE-ATROPINE MYOCARDIAL STRESS TEST USING MAGNETIC RESONANCE IMAGING

původní práce

Jiří Ferda¹

Kateřina Linhartová²

¹Radiodiagnostická klinika LF UK a FN, Plzeň

²I. interní klinika LF UK a FN, Plzeň

Přijato: 20. 9. 2006

Korespondenční adresa:

doc. MUDr. Jiří Ferda, Ph.D.
Radiodiagnostická klinika LF UK a FN
Alej Svobody 80, 306 40 Plzeň
e-mail: ferda@fnplzen.cz

Práce byla podpořena výzkumným projektem MSM 0021620819.

Předneseno jako vědecké sdělení na XXXIV. českém radiologickém kongresu v Českém Krumlově.

SOUHRN

Ferda J, Linhartová K. Dobutamin–atropin stress test myokardu pomocí magnetické rezonance

Cíl. V práci hodnotíme bezpečnost, proveditelnost a diagnostické zkušenosti s prováděním dobutamin–atropinového testu na MRI.

Metoda. V období 12 měsíců jsme provedli celkem 50 zátěžových MRI srdce u nemocných s potvrzeným onemocněním koronárních tepen, či při podezření na ně. Vyšetření byla prováděna radiologem na přístroji Avanto 1.5 T s použitím matrixové body cívký a bezdrátového gatovacího systému. Protokol sestával ze sekvencí balancovaného echa (trueFISP retrogated) v čtyřdutinové projekci, dvoudutinové projekci levé komory, v šesti projekcích v krátké srdeční ose a eventuálně i ve dvouvýtokové projekci levé komory. Dobutamin byl aplikován kardiologem stupňovitě v dávkách 5–10–20–30–40 µg/kg/min, trvání jednotlivých stupňů zátěže trvalo 4–5 minut, podle možné rychlosti akvizice MR dat. Pokud nebyla dostatečná chronotropní odpověď na dobutamin, byl od stupně 20 µg/kg/min dobutaminu aplikován atropin v dávkách po 0,5 mg do celkové dávky 2 mg. Během celého vyšetření byl měřen systolický tlak na mezi jednotlivými stupni zátěže, srdeční frekvence a EKG byly monitorovány pomocí MR systému.

Výsledky. V souboru nebyl zaznamenán jako komplikace infarkt myokardu, v jediném případě (2 %) vznikla komorová tachykardie, která si vyžádala bezprostřední kardioverzi. Hodnotili jsme poruchy a změny kinetiky myokardu levé komo-

SUMMARY

Ferda J, Linhartová K. Dobutamine–atropine myocardial stress test using magnetic resonance imaging

Aim. This study assesses the feasibility, safety, and diagnostic experience with MRI dobutamine–atropine stress test.

Method. Fifty cardiac stress MRI examinations were performed during 12 months due to proved or suspected coronary heart disease, including 12 patients with renal insufficiency. All examinations were performed by a radiologist on 1.5 Tesla system (Magnetom Avanto, Siemens, Germany) using body matrix coil and wireless gating system. Protocol contained balanced echo sequences (trueFISP retrogated) in four-chamber, two-chamber, and short axis projections, with additional double outlet projection in selected cases. Dobutamine was dosed by experienced cardiologist in steps 5–10–20–30–40 µg/kg/min, one step of 4–5 min duration. If the chronotropic response was insufficient, additional application of atropine was used in partial doses of 0.5 mg up to total dose of 2 mg. Systolic blood pressure was measured between steps, heart rate and ECG was registered online during whole procedure.

Results. No acute myocardial infarction was noted. Developed in one patient, ventricular tachycardia requiring immediate cardioversion represented single serious complication (2 %). No complication occurred in patients with renal insufficiency. Stress dependent kinetic disorders and changes were assessed and viable myocardium was found in 22 %, non-viable scar in 28 %, stress induced ischemia in 18 %, and

ry v závislosti na zátěži, viabilní myokard jsme prokázali ve 22 % případů, aviabilní jizvu v 28 %, zátěžovou ischemii v 18 % případech a u 32 % případů byl nález negativní (nebyly pozorovány poruchy kinetiky), v 6 % případů byla patrná chlopenní vada.

Závěr. Dobutamin–atropinový stress test myokardu provedený kombinovaným týmem je bezpečný, standardně proveditelný a stává se vhodnou alternativou dobutaminové echokardiografie.

Klíčová slova: dobutamin–atropin stress test, ischemická choroba srdeční, magnetická rezonance.

normal finding (without any kinetic disorder) in 32 % of cases. Valvular vitium was noted in 6 %.

Conclusion. Our experience shows that dobutamine–atropine stress test performed by an interdisciplinary team is safe and feasible procedure and is an alternative to dobutamine echocardiography in depiction of stress induced disorders of myocardial kinetics.

Key words: dobutamine–atropine stress test, coronary heart disease, magnetic resonance.

ÚVOD

Zátěžová vyšetření u nemocných s ischemickou chorobou srdeční nebo při podezření na ni zahrnují tradičně široké spektrum metod (1). Nejfyziologičtější zátěž je fyzická, která je využívána u bicyklové ergometrie a perfuzních vyšetření myokardu pomocí jednofotonové emisní tomografie (SPECT). Farmakologické zátěžové testy spočívají v aplikaci látek, které ovlivňují perfuzní poměry v myokardu, nebo svým inotropním a chronotropním účinkem simulují tachykardii u fyzické zátěže (2). Mezi farmaka využívaná k zátěžovým vyšetřením patří dypiridamol užívaný při SPECT vyšetření, dále adenosin pro hodnocení poruch perfuze, jak při metodách nukleární medicíny, tak i u perfuzního vyšetření magnetickou rezonancí. Dobutamin je relativně dlouho a rutinně využíván k indukovaní poruch kinetiky závislých na ischemii při dobutaminové echokardiografii. Echokardiografie má ovšem některé fyzikální limitace pro zobrazení srdce, především u nemocných obézních a pulmpatů se širokou ventrální zónou dotyku plicního parenchymu (3).

Magnetická rezonance (MR) srdce disponuje v současné době velmi kvalitním zobrazením srdce včetně kinetických studií, akvizice dat je poměrně rychlá a nemá podstatnější fyzikální limitace (4, 5). Kontraindikací k provedení magnetické rezonance srdce jsou obecné kontraindikace MR vyšetření – implantovaný kardiostimulátor, elektronické a feromagnetické implantáty, klaustrofobie, dušnost s nemožností ležet v poloze na zádech.

U zátěžového vyšetření magnetickou rezonancí pomocí dobutaminu lze využít k identifikaci poruch kinetiky myokardu vyvolaného zátěží zkušenosti s chováním myokardu během dobutaminové echokardiografie. Cílem práce je zhodnotit zkušenosti s dobutamin–atropin stress testem prováděným při vyšetření MR.

MATERIÁL A METODA

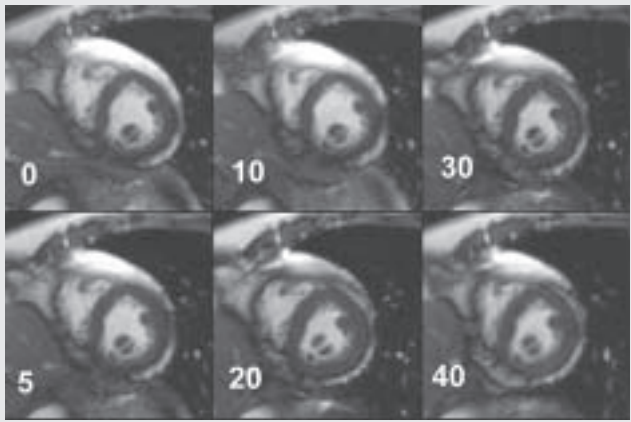
Během 12 měsíců jsme provedli 50 vyšetření srdce magnetickou rezonancí se zátěží pomocí aplikace dobutaminu. V souboru bylo 27 mužů a 23 žen. U 21 nemocných bylo vyšetření provedeno z indikace vyloučení zátěžové ischemie myokardu, u 29 bylo indikací posouzení nejen zátěžové ischemie, ale

také viability myokardu. Průměrný věk v souboru byl 65,2 let, rozpětí 34–81 let.

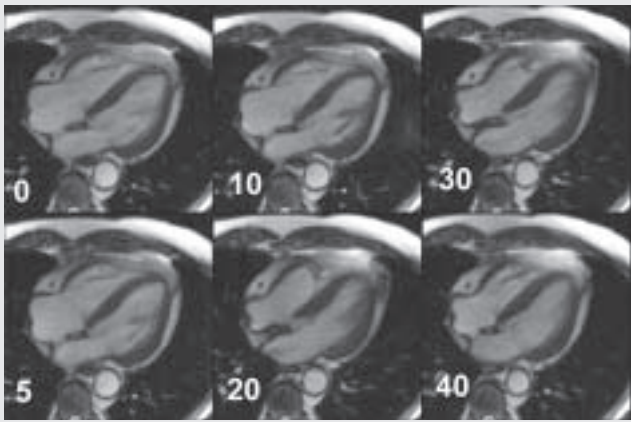
Vyšetření byla prováděna kombinovaným týmem složeným z radiologa (J.F.) a kardiologa (K.L.) se zkušenostmi s dobutaminovou echokardiografií a také s resuscitací a defibrilací. Radiolog byl odpovědný za provedení MR vyšetření, kardiolog za aplikaci dobutaminu a sledování nemocného po kardiopulmonální stránce. Poruchy kinetiky hodnotili radiolog a kardiolog v konsenzu.

Vyšetření byla prováděna na přístroji Magnetom Avanto 1.5 T (Siemens, Erlangen, SRN) pomocí matrixové phase-array body cívky se 6 elementy, která umožňuje použití paralelních akvizičních technik. Zobrazovací sekvence byla zpětně segmentovaná sekvence balancovaného echa (trueFISP retrogated) se zpětnou segmentací synchronizovanou s EKG pomocí retrogatingu. Parametry sekvence byly následující: TR 44,52 ms, TE 1,34 ms, flip angle 78 st., FOV 300 mm, šíře obrazu 6 mm, matrix 192 × 192, doba akvizice 9 s, zpětná segmentace ve 25 fázích v jednom RR intervalu. EKG synchronizaci jsme standardně doplňovali pulzním gatovacím systémem, který nás informoval jednak o pulzové frekvenci, ale také sloužil při neuspokojivém gatování z EKG k synchronizaci akvizice dat u nemocných s nepravidelnou akcí, především s fibrilací síní.

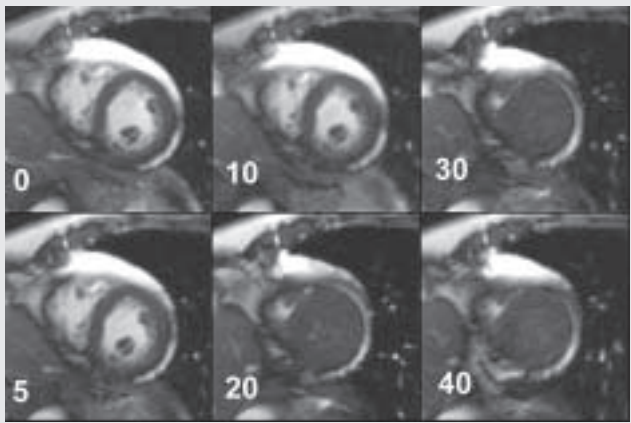
Byl aplikován dobutamin stupňovitě v dávkách 5–10–20–30–40 µg/kg/min infuzní pumpou, trvání jednotlivých stupňů zátěže trvalo 4–5 minut, podle možné rychlosti akvizice MR dat. Pokud nebyla dostatečná chronotropní odpověď na dobutamin, byl od stupně 20 mikrogramů dobutaminu aplikován atropin v dávkách po 0,5 mg do celkové dávky 2 mg. Během celého vyšetření byl měřen systolický tlak na bérce mezi jednotlivými stupni zátěže, srdeční frekvence a EKG byly monitorovány pomocí MR systému. Cílovou zátěží byla submaximální tepová frekvence (80 % z hodnoty 220 – věk pro muže a 80 % z hodnoty 200 – věk pro ženy), test byl přerušen také při objevení se indukovaných poruch kinetiky, dále subjektivních projevech bolestí na hrudi, při odpovědi hypotenzí při aplikaci dobutaminu s poklesem o více než 40 mm Hg, při hypertenzní reakci s hodnotami 240/120 mm Hg, při objevení se depresí ST jako projevu ischemie. Test by byl přerušen, i kdyby se bývala objevila nově vzniklá porucha rytmu. Deset minut po ukončení aplikace dobutaminu bylo provedeno kontrolní vyšetření k posouzení reverzibility ischemických změn kinetiky.



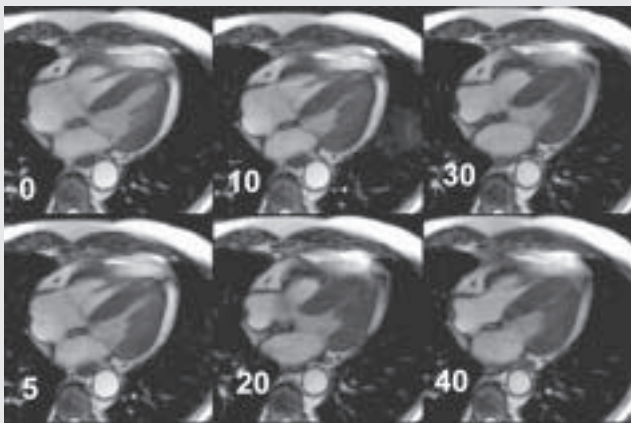
▲ Obr. 1 A



▲ Obr. 1 B



▲ Obr. 1 C



▲ Obr. 1 D

Obr. 1. Normální kinetika myokardu v odpovědi ve stupních dávky dobutaminu od 0 do 40 µg/kg/min, v plné dávce dobutaminu se výrazně zvyšuje ejekční frakce levé komory až na téměř 100 %. A – projekce v krátké ose v diastole; B – projekce v krátké ose v systole; C – čtyřdutinová projekce v diastole; D – čtyřdutinová projekce v systole

Fig. 1. Normal myocardial kinetics in steps of dobutamin dose from 0 to 40 µg/kg/min, ejection fraction of the left ventricle increases up to near 100 %. A – short axis projection in diastole; B – short axis projection in systole; C – four-chamber projection in diastole; D – four-chamber projection in systole

Kinetika myokardu byla hodnocena společně radiologem a kardiologem pomocí smyčky a porovnáváním zobrazení v jednotlivých stupních zátěže mezi sebou a dále komplexně při přehledném zobrazení všech stupňů v jediném multiformátním obraze. Hodnocena byla ejekční frakce v klidu a na vrcholu zátěže pomocí semiautomatické editace a kalkulace objemů. Kromě kinetiky levé komory byla hodnocena pohyblivost a kontraktilita také myokardu pravé komory. Během vyšetření v klidové fázi byla věnována pozornost chlopenním vadám, pokud byla nalezena aortální vada, byla rutinně doplňována také projekce dvouvýtoková, aby bylo možné posoudit vliv zátěže na chování chlopenní vady.

VÝSLEDKY

Při zátěžových vyšetřeních myokardu pomocí dobutaminového stress testu byly nalezeny následující poruchy a změny kinetiky myokardu levé komory v závislosti na zátěži:

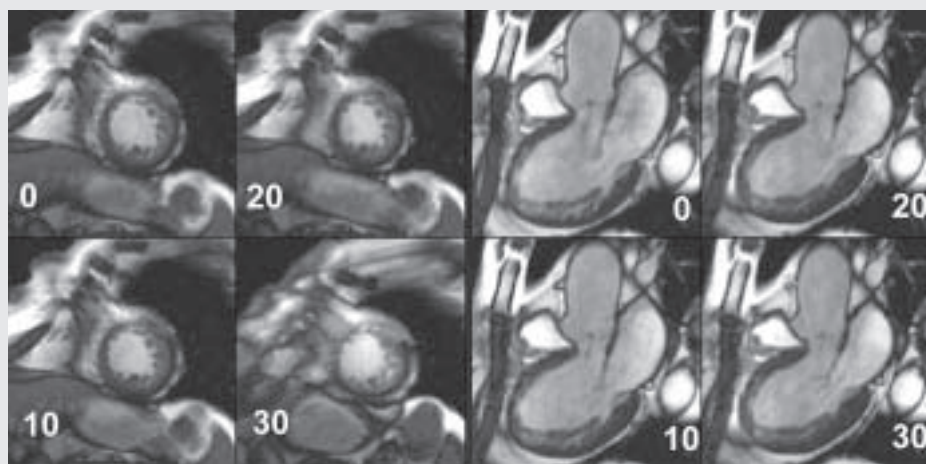
1. viabilní myokard, kdy se v místě klidové hypokineze objevilo zlepšení kontraktility v dávkách 5–10 µg/kg/min dobutaminu, jsme prokázali v 11 případech (22%);
2. aviaibilní akinetickou jizvu beze změny pohyblivosti v 14 případech (28%);

3. zátěžovou ischemii s objevením se poruchy kontraktility v dávkách nad 20 µg/kg/min v 9 případech (18%);
4. u 32 nemocných (32 %) případů byl nález negativní, nebyly pozorovány poruchy kinetiky;
5. u 3 nemocných (6 %) byla patrná chlopenní vada. U jedné nemocné se zvýraznila mitrální insuficience během zátěže ze stupně 1/4 na 3/4.

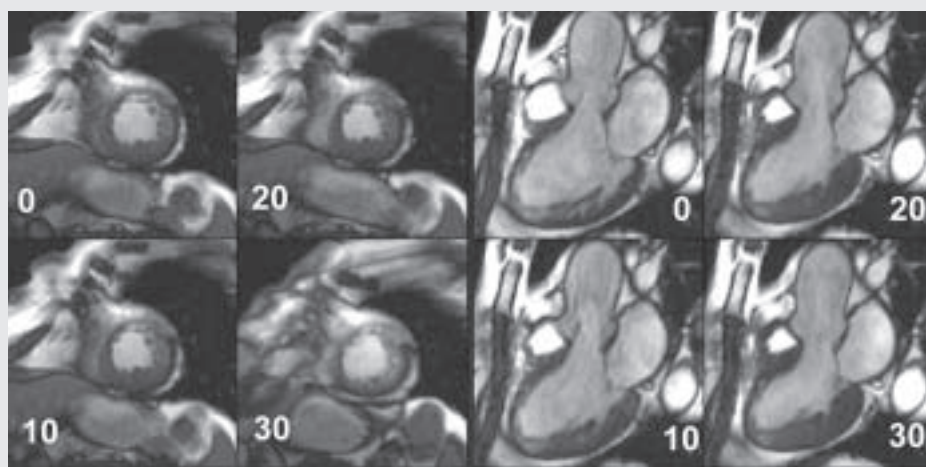
U 23 nemocných (56 %) jsme byli nuceni kombinovat aplikaci dobutaminu s podáním atropinu z důvodu nedostatečného zvýšení, či paradoxní reakce s poklesem srdeční frekvence po aplikaci dobutaminu.

U souboru nemocných se vyskytla jen jediná závažná komplikace se vznikem komorové tachykardie. U nemocného byla v předsálí vyšetřovací kabiny provedena úspěšná kardioverze dvěma výboji defibrilátoru. Po kardioverzi byl již nemocný opět při plném vědomí a neobjevily se u něj žádné následné známky kardiovaskulární či cerebrovaskulární komplikace.

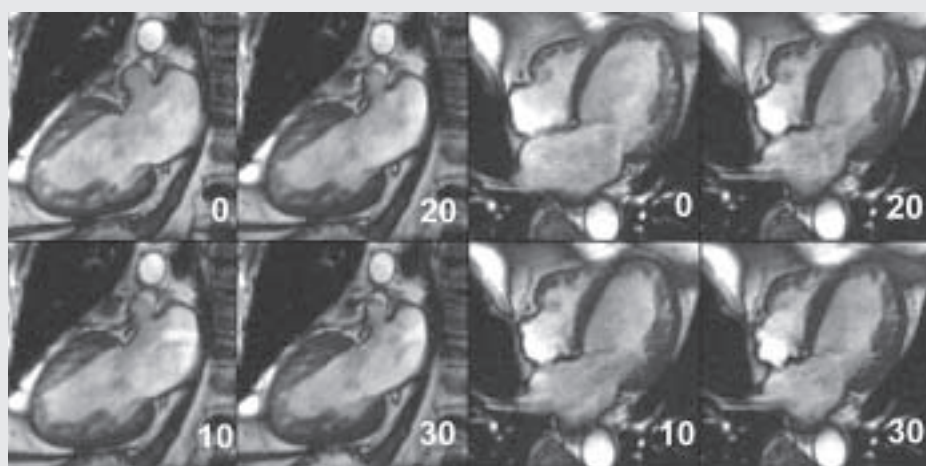
K nezávažným negativním projevům aplikace došlo v dalších dvou případech. V jediném případě došlo u nemocného ke vzniku hypotenze při podání dobutaminu dávkou 10 µg/kg/min. Pokles tlaku byl z původních 140 mm Hg systolického tlaku na 70 mm Hg systolického tlaku. Po vysazení aplikace dobutaminu došlo k restituci výše tlaku.



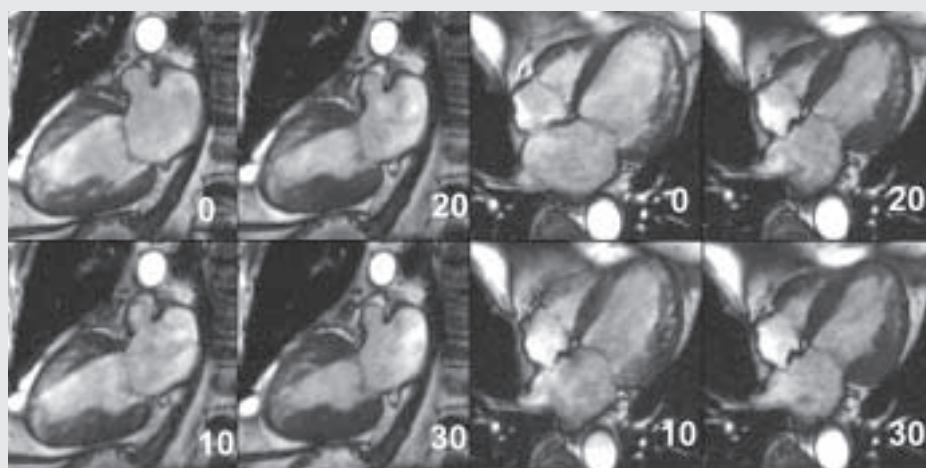
◀ Obr. 2 A



◀ Obr. 2 B



◀ Obr. 2 C



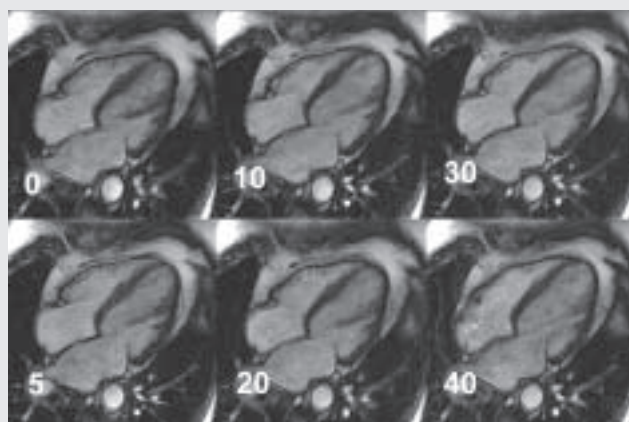
◀ Obr. 2 D

Obr. 2. **Komplexní poruchy kinetiky u nemocného po prodělaném anteroseptálním infarktu myokardu, výběr stupňů zátěže při podání 0, 10, 20 a 30 µg/kg/min dobutaminu.** V systole v dávce 30 µg/kg/min dobutaminu se v projekci v krátké ose objevuje akineze a ztenčení v oblasti laterální a spodní stěny myokardu levé komory, která svědčí pro zátěžovou ischemii v povodí pravé věnčité tepny, tedy v povodí jiném, než byl původní infarkt myokardu. Na čtyřdutinové projekci se objevuje zlepšení mírné zlepšení kinetiky myokardu septa a laterální stěny levé komory, což svědčí pro viabilní myokard v této lokalizaci s potenciálním profitem z revaskularizace. Fixní akineze anteroseptálně. Na dvouvýtokové projekci je patrná neměnná aortální insuficience. A – projekce v krátké ose a dvouvýtoková projekce v diastole; B – projekce v krátké ose a dvouvýtoková projekce v systole; C – projekce v dlouhé ose levé komory a čtyřdutinová projekce v diastole; D – projekce v dlouhé ose levé komory a čtyřdutinová projekce v systole

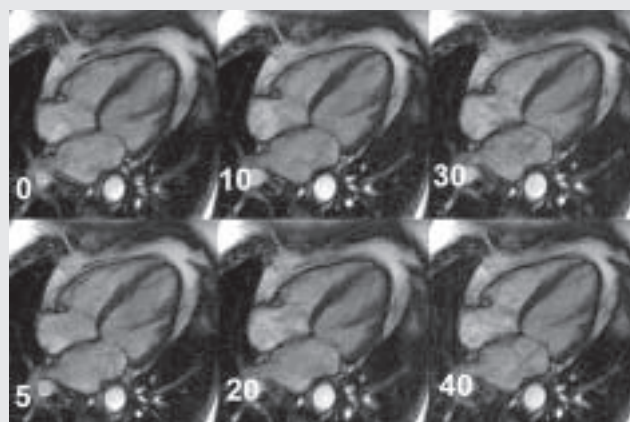
Fig. 2. **Complex kinetic disorder in patient after antero-septal myocardial infarction, stress steps of 0, 10, 20 and 30 µg/kg/min of dobutamine.**

Akinesia in the region of the lower and lateral wall of the left ventricle presented on short axis view occurred in dobutamine dose of 30 µg/kg/min. MRI shows stress induced ischemia in the territory of the right coronary artery – different vessel in comparison to the antero-septal, previously developed myocardial infarction. Better kinetics of the lateral wall of the left ventricle is due to the viable myocardium with potential functional improvement after revascularization. Fixed akinesia in the region of antero-septal infarction caused by non-viable scar. The aortic insufficiency seen on double-outlet projection does not change throughout the stress test.

A – short axis and double-outlet projection in diastole; B – short axis and double-outlet projection in systole; C – long axis and four-chamber projection in diastole; D – long axis and four-chamber projection in systole



▲ Obr. 3 A



▲ Obr. 3 B

Obr. 3. Zátěží indukovaná mitrální insuficience u nemocné s dušností objevující se ve vysokých srdečních frekvencích, zobrazení ve stupních dávkách dobutaminu od 0 do 40 µg/kg/min. čtyřdutinová projekce: A – v diastole; B – v protosystole.

Fig. 3. Stress-induced mitral insufficiency in a female suffering from dyspnea occurring at higher heart rate, imaging in steps of dobutamine dose from 0 to 40 µg/kg/min. A – diastolic and B – systolic four-chamber projection

Bolest na hrudi, která nás donutila podat nitráty, se objevila jen u jediné nemocné, se obešla bez indukce infarktu. U nemocné nebyly následně zvýšené specifické enzymy ani nebyly přítomny EKG projevy infarktu, de facto šlo o projev pozitivního výsledku zátěžového testu. Vyšetřením indukovaný infarkt myokardu se v souboru nevyskytl.

DISKUZE

Základní rozdělení poruch kinetiky myokardu je rozdělení na normokinezi, hyperkinezi, hypokinezi, akinezi a dyskinezi.

Normokineze se projevuje rovnoměrnou kontrakcí mezi diastolou a systolou, dochází k rovnoměrnému ztlustování stěny myokardu

Hyperkineze je fyziologickou odpovědí na fyzickou zátěž a také na aplikaci dobutaminu, myokard má akcelerovanou dobu kontrakce, ztlustuje se rovnoměrně. Hyperkineze je v normální situaci doprovázena zvětšením ejekční frakce.

Hypokineze je porucha hybnosti myokardu, která je typická ztlustováním, avšak méně výrazným, než je u normokinetického myokardu. U hypokinetických oblastí může jít o místa, kde se projeví účinek dobutaminu na myokard – buď izolované zlepšení kinetiky, nebo doprovázené ve vyšších dávkách akinetickou odpovědí u indukované zátěžové ischemie.

Akineze myokardu se jen pasivně pohybuje, je většinou zeslabený, pokud dosahuje šíře pod 5 mm, jde pravděpodobně o aviaibilní jizvu. Dyskineze je typická pro rozvoj aneurysmatu srdečního v místech, kde je jizva po transmuralním infarktu, dále se objevuje v místech indukované ischemie.

Dyskineze vzniká na podkladě zátěžové ischemie se projevuje pasivním pohybem ve směru tlakového gradientu, ve volných oblastech levé komory se vyklenuje jako paradoxní pulzace, v místě interventrikulárního septa se objevuje vlání, během iniciální fáze systoly se vyklenuje do pravé komory, pak po vypuzení části krve překmitává septum směrem doleva.

Pomocí odpovědi myokardu na podání dobutaminu a v závislosti na dávce µg/kg/min v je možné identifikovat jednotlivé typy morfologicko-funkčního postižení myokar-

du. Jizva v srdeční svalovině bez přítomnosti kontraktilních myocytů zůstává po celou dobu vyšetření akinetická, případně se objevuje její dyskineze. Myokard, u něž dochází v nižších dávkách dobutaminu ke zlepšení kinetiky, obsahuje myocyty schopné zvýšení kontraktility, a je tedy viabilní (6–8). Pokud se ve vyšších dávkách nad 20 µg/kg/min dobutaminu dostavuje zhoršení kinetiky – hypokineze až akineze (např. v oblasti septa – tzv. vlání) jde o zátěží indukovanou ischemizaci myokardu (6–9), která je projevem inkompetence oběhu.

Od začátku devadesátých let 20. století se objevují práce poukazující na možnost vyšetření myokardu s dobutaminovou zátěží magnetickou rezonancí (8). Velkou limitací byly v devadesátých letech nedostatečně rychlé sekvence k zobrazení kinetiky myokardu. Nové techniky, především paralelní akvizice dat, umožňující zvýšení kontrastu tkání a vyšší rozlišení v přijatelné akviziční době, a také novější rychlé sekvence rychlého a balancovaného gradientního echa překonali původní limitace přístrojů z devadesátých let.

Při hodnocení některá pracoviště využívají tzv. myocardiální tagging, pomocí gradientní FLASH sekvence, která vytvoří na myokardu obraz mřížky, jejíž deformace, jak uvádějí autoři, mohou pomoci k usnadnění identifikace míst s poruchou kinetiky (10).

U zátěžového vyšetření pomocí dobutaminu je nutné zabezpečit dostatečnou odpověď myokardu na stres tím, že nemocný vynechá na 72 hodin před vyšetřením veškerou antianginózní terapii (2, 6). Pokud by se tak nestalo, je tato medikace, především betablokátory, odpovědná za nedostatečnou odpověď myokardu na dobutamin. Na druhé straně vynechání medikace u některých nemocných může vyvolat negativní následky ve smyslu objevení se bolesti na hrudi typických pro nestabilní anginu pectoris.

Zatímco někteří autoři udávají, že nepoužívají pravidlo submaximální tepové frekvence, jako limit další aplikace dobutaminu, naše zkušenosti jsou takové, že většinou při cílové frekvenci dosahujeme maximální dávky dobutaminu, nebo nemocní mají již anginózní obtíže (2, 6).

Při MR vyšetření se na rozdíl od echokardiografie výrazněji projevuje vagový tonus, který z velké části odpovídá za chronotropní inkompetenci vyšetření, k potlačení vagového

tonusu je používán u pacientů, kteří neodpovídají zvýšení dávky dobutaminu zvýšenou tepovou frekvencí (3). Aplikuje se od dávky 20 µg/kg/min 0,5 mg atropinu do celkové dávky 2 mg (2, 6, 10).

V porovnání s vyšetřením viability myokardu jinými technikami (5, 9) je výhodou dobutaminové MR především zobrazení funkčních kinetických projevů zátěžové ischemie. Jak metoda pozdního syčení kontrastní látkou při MR vyšetření, tak PET či eventuálně MDCT vyšetření není schopné tyto funkční změny odhalit. Stejně tak zátěžové perfuzní vyšetření myokardu s aplikací adenosinu neumožňuje zobrazit tento zásadní funkční aspekt zátěžové ischemie

Dobutamin-atropin stress test je náročný na organizaci práce na pracovišti a na spolupráci radiologa s kardiologem. Vzhledem k tomu, že může při aplikaci dobutaminu docházet k významných a život ohrožujícím komplikacím, je nezbytná přítomnost kardiologa zběhlého v resuscitaci a defibrilaci přímo při vyšetření. Nežádoucími reakcemi může být indukovaný infarkt myokardu, hypotenze, hypertenze, fibrilace komor. V publikovaných studiích se tyto komplikace

vyskytují jen vzácně, v našem souboru tvořily závažné reakce jen 2 % (5, 10). Ve srovnání s jinými autory jsme vyšetřovali i nemocné, kteří měli fibrilaci síní (6, 10). U těchto nemocných bylo nutné někdy využít namísto EKG synchronizaci pulzem, která u těchto nemocných velmi osvědčila.

ZÁVĚR

Dobutamin-atropinové zátěžové vyšetření myokardu je bezpečné a přispívá k průkazu zátěžových poruch kinetiky. Vzhledem k vynikajícímu morfologickému rozlišení je možné předpokládat, že v budoucnosti se stane tento způsob vyšetření zlatým standardem zobrazení zátěží indukovaných poruch pohyblivosti myokardu. Jako perspektivní se ukazuje, že zátěžové vyšetření myokardu magnetickou rezonancí je možné použít jako doplňující funkční vyšetření u nemocných s relativně nevýznamným nálezem na věnčitých tepnách při vyšetření pomocí multidetektorové CT angiografie věnčitých tepen s EKG synchronizací.

LITERATURA

1. Lipton MJ, Bogaert J, Boxt LM, Reba RC: Imaging of the ischemic heart disease. *Eur Radiol* 2002; 12: 1061–1080.
2. Schalla S, Klein C, Paetsch I, et al. Real-time MR image acquisition during high dose dobutamine hydrochloride stress for detecting left ventricular wall motion abnormalities in patients with coronary artery disease. *Radiology* 2002; 224: 845–851.
3. Hundley WG, Hamilton CA, Thomas MSE, et al: Utility of fast cine magnetic resonance imaging and display for detection of myocardial ischemia in patients not well suited for second harmonic stress echocardiography. *Circulation* 2004; 107: 1697–1702.
4. Wintersperger BJ, Nikolau K, Dietrich O, Rieber J, Nittka M, Reiser MF, Schoenberg SO. Single breath-hold real-time cine MR imaging: improved temporal resolution using generalized autocalibrating partially parallel acquisition (GRAPPA) algorithm. *Eur Radiol* 2003; 13: 1931–1936.
5. Klzo L, Žižka J, Solař M, Tintěra J. Současné možnosti magnetické rezonance v diagnostice onemocnění srdce. *Čes Radiol* 2004; 58: 296–301.
6. Kuipers D, Janssen CHC, van Dijkman PRM, Oudkerk M. Dobutamine stress MRI. Part I. Safety and feasibility of dobutamine cardiovascular magnetic resonance in patients suspected of myocardial ischemia. *Eur Radiol* 2004; 14: 1823–1828.
7. Marhrholdt H, Wagner A, Judd RM, Fechter U. Assessment of the myocardial viability by cardiovascular magnetic resonance imaging. *Europ Heart J* 2002; 23: 602–609.
8. Pennel DJ, Underwood SR, Swanton RH, et al. Magnetic resonance imaging during dobutamine stress in coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1992; 70: 34–40.
9. Sandstede JJ. Assessment of the myocardial viability by MR imaging *Eur Radiology* 2003; 13: 52–61.
10. Kuipers D, Ho KYJAM, Vliegenthart R, Oudkerk M. Dobutamine cardiovascular magnetic resonance for detection of myocardial ischemia using myocardial tagging. *Circulation* 2003; 107: 1592–1597.